

Isparta Darıdere havzasında morfometrik özellikler ve erozyon dinamiklerinin değerlendirilmesi: Entropi tabanlı WASPAS yöntemi ile havza önceliklendirmesi

İbrahim Dursun^{a,*} , Ahmet Alper Babalık^a 

Öz: Bu çalışma, Isparta ili sınırları içerisinde yer alan Darıdere havzasının morfometrik özelliklerini detaylı olarak analiz ederek, erozyon potansiyelini belirlemeyi ve alt havzaların yönetimsel önceliklerini bilimsel yöntemlerle ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırmada öncelikle Mekik Radar Topografya Misyonu (SRTM) verilerinden elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak, havzanın çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen morfometrik veriler, karar verici etkilerden bağımsız ve nesnel bir şekilde ağırlıklandırılmak amacıyla Entropi yöntemi ile analiz edilmiştir. Entropi yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılarak, çok kriterli karar verme tekniklerinden WASPAS (Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi) yöntemi uygulanmış ve Darıdere havzasındaki alt havzalar erozyon duyarlılığına göre önceliklendirilmiştir. Analiz sonucunda AH-1 ve AH-2 alt havzalarının çok yüksek erozyon riski taşıdığı, AH-4'ün ise yüksek risk grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Buna karşın AH-7 düşük risk düzeyinde, AH-3, AH-5 ve AH-6 alt havzaları çok düşük risk düzeyinde sınıflandırılmıştır. Elde edilen bulgular, havzanın morfolojik olarak heterojen bir yapıya sahip olduğunu ve erozyon riskinin alt havza düzeyinde önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, Entropi-WASPAS entegrasyonu ile hem nesnel hem de tekrarlanabilir bir değerlendirme yaklaşımı sunmakla birlikte; sürdürülebilir havza yönetimi, toprak koruma ve su kaynakları planlaması açısından karar vericilere bilimsel dayanak sağlamaktadır. Ayrıca, kullanılan yöntemsel çerçeve, benzer topoğrafik ve çevresel koşullara sahip diğer küçük ve orta ölçekli havzalara da uygulanabilir niteliktedir.

Anahtar kelimeler: CBS, Çok kriter karar verme, Entropi, Erozyon, Havza önceliklendirmesi, Morfometri, WASPAS

Evaluation of morphometric properties and erosion dynamics in the Isparta Darıdere watershed: Watershed prioritization using the Entropy-based WASPAS method

Abstract: This study aims to perform a detailed assessment of the morphometric characteristics of the Darıdere Watershed, located within the boundaries of Isparta Province, Türkiye, in order to evaluate its erosion potential and determine the management priority of its sub-watersheds. The analysis was based on the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)-derived Digital Elevation Model (DEM), from which a wide range of morphometric parameters were computed, including linear, areal and relief indices. To objectively weight these parameters without subjective bias, the Entropy method, a statistical approach grounded in information theory was employed. This method quantified the significance of each morphometric parameter based on its variability and information content across the sub-watersheds. The derived weights were then incorporated into the Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) method, a hybrid multi-criteria decision-making (MCDM) technique that combines the benefits of both additive and multiplicative models. The results revealed a notable variation in erosion susceptibility across the seven delineated sub-watersheds. Sub-watersheds SW-1 and SW-2 exhibited the highest erosion risk levels, while SW-4 was classified as high risk. In contrast, AH-7 was classified as low risk, whereas AH-3, AH-5, and AH-6 were classified as very low risk. These findings underscore the spatial heterogeneity of geomorphological conditions within the watershed and demonstrate the importance of site-specific prioritization in watershed management strategies. The integrated Entropy-WASPAS framework provided a robust, data-driven, and reproducible methodology for sub-watershed prioritization. The study not only contributes to the scientific understanding of erosion processes within the Darıdere Watershed but also offers a transferable model for sustainable watershed planning and land degradation mitigation in similar geographic contexts.

Keywords: GIS, Multi-criteria decision-making, Entropy, Erosion, Watershed prioritization, Morphometry, WASPAS

1. Giriş

Su kaynakları, ekosistemlerin sürekliliği ve insan yaşamının sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez doğal varlıklar arasında yer almaktadır (Falkenmark, 2003). Artan nüfus, iklim değişikliği, kentleşme ve yoğun arazi kullanımı gibi antropojenik baskılar, bu kaynakların miktar ve kalite

açısından ciddi tehditlerle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Özellikle suyun toplandığı, aktığı ve depolandığı havzalar, hem hidrolojik döngünün temel bileşenleri hem de bölgesel çevresel süreçlerin kontrol merkezleri olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, havza bazında gerçekleştirilen bilimsel analizler; su yönetimi, arazi planlaması, erozyon kontrolü ve doğal afet risklerinin azaltılması gibi alanlarda

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ibrahimdursun@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.06.2025, **Accepted** (Kabul tarihi): 10.09.2025



Citation (Atıf): Dursun, İ., Babalık, A.A., 2025. Isparta Darıdere havzasında morfometrik özellikler ve erozyon dinamiklerinin değerlendirilmesi: Entropi tabanlı WASPAS yöntemi ile havza önceliklendirmesi. Turkish Journal of Forestry, 26(3): 212-223. DOI: [10.18182/tjf.1728707](https://doi.org/10.18182/tjf.1728707)

temel birer araç niteliği taşımaktadır (Evers, 2016; Pamukoğlu vd., 2023; Ediş, 2025).

Türkiye; topoğrafik çeşitliliği, farklı iklim rejimleri ve karmaşık jeolojik yapıları ile su havzaları açısından son derece heterojen bir coğrafyaya sahiptir. Ancak bu çeşitlilik, havza yönetimini daha karmaşık ve çok boyutlu hale getirmekte; özellikle erozyon, taşkın ve arazi bozulması gibi süreçlerin etkilerini artırmaktadır. Türkiye topraklarının yaklaşık %80'inden fazlasının erozyona duyarlı olduğu bilinmekte ve bu durum, etkin bir havza yönetimi yaklaşımını zorunlu kılmaktadır (Erol vd., 2009; Yüksel vd., 2008). Erozyon, yalnızca toprak verimliliğini azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda su kalitesinin bozulmasına, rezervuarların dolmasına ve biyolojik çeşitliliğin tehdit altına girmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, erozyon riskinin doğru belirlenmesi ve öncelikli müdahale alanlarının tespit edilmesi, sürdürülebilir kaynak yönetiminin ön koşullarından birini oluşturmaktadır (Kumar vd., 2022; Demir ve Dursun, 2024).

Havza yönetimi çalışmalarında, erozyon duyarlılığının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerin başında morfometrik analizler gelmektedir (Singh vd., 2021). Morfometri; bir havzanın jeomorfolojik yapısını sayısal olarak tanımlayarak, eğim, rölyef, drenaj yoğunluğu ve akarsu uzunluğu gibi parametrelerin erozyon süreçleriyle olan ilişkilerini ortaya koymaktadır (Dursun ve Babalık, 2023). Bu parametreler, suyun yüzeysel akış davranışını, infiltrasyon kapasitesini ve sediment taşınım potansiyelini anlamada kritik öneme sahiptir. Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojilerinin gelişmesi, bu tür analizlerin hem doğruluğunu hem de uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır (Yasir vd., 2020; ESRI, 2004).

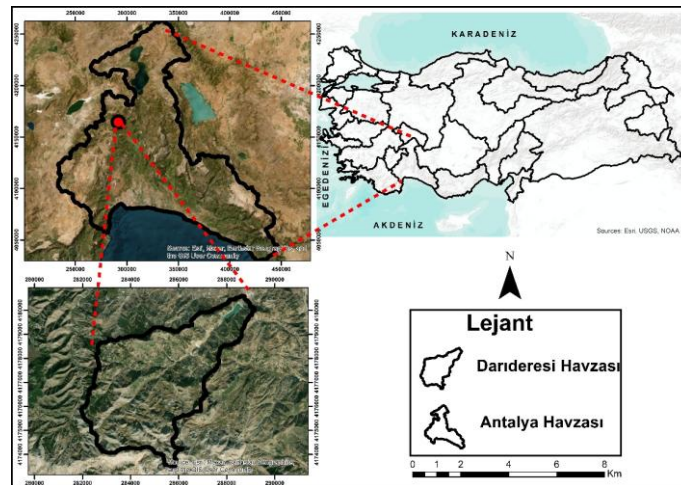
Ancak sadece morfometrik göstergelere dayalı analizler, havza yönetiminde yeterli bir karar altyapısı sunmamakta; çok sayıda kriterin birlikte değerlendirildiği Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, karar vericilere nesnel ve tutarlı çözümler sunabilen entegre analiz tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. ÇKKV yaklaşımlarının karar süreçlerine entegrasyonu, farklı coğrafi ve morfolojik değişkenlerin birlikte değerlendirilmesini sağlayarak daha bütüncül ve güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak tanımaktadır (Dwivedi ve Sharma, 2024; Keramati ve Shapouri, 2016).

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneybatısında yer alan ve Antalya havzasına bağlı Darıdere havzası örneğinde, morfometrik analizlere dayalı entegre bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı; Darıdere havzasının alt birimlerini oluşturan alt havzaların erozyon potansiyelini nesnel yöntemlerle belirlemek ve bu alt havzaları, yönetim önceliği açısından sıralamaktır. Bu amaçla, öncelikle havzanın çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik parametreleri hesaplanmış; ardından bu parametreler Entropi yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklar, WASPAS (Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi) yöntemi ile ÇKKV çerçevesinde değerlendirilerek, alt havzalar erozyon riski bakımından önceliklendirilmiştir (Akay vd., 2024; Sarkar ve Gayen, 2024; Aytekin vd., 2022; Badalpur ve Nurbakhsh, 2021). Çalışma hem yöntemsel hem de uygulamalı açıdan literatüre önemli katkılar sunacaktır. Entropi ve WASPAS yöntemlerinin CBS temelli morfometrik analizlerle birleştirilmesi, havza yönetiminde bilimsel temelli, şeffaf ve tekrarlanabilir bir karar destek mekanizması ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçların, yalnızca Darıdere havzası özelinde değil; benzer morfolojik yapıya sahip diğer havzalarda da uygulanabilirliği bulunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, sürdürülebilir arazi ve su kaynakları yönetimi politikalarının geliştirilmesine yönelik somut veriler ve stratejik analizler ortaya koyacaktır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışma, Isparta il sınırları içerisinde yer alan Darıdere yağış havzasında yürütülmüştür. Havza, Antalya havzasına bağlı bir havzadır (Şekil 1). Darıdere havzası, Isparta-Antalya karayolunun kuzeyinde konumlanmakta olup, başlıca su kaynağı Isparta Çayı'nın kollarından biri olan Darıderesi'dir (Erol vd., 2009). İklim özellikleri bakımından De Martonne-Gottman yöntemine göre çalışma alanında "yarı kurak-nemli arası" bir iklim tipinin etkili olduğu belirlenmiştir (Dursun ve Babalık, 2021). Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre ise Isparta (Merkez) ilinin, C1, B'2 2. derece Mezotermal, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir (Dursun ve Yazıcı, 2022).



Şekil 1. Darıdere havzasının lokasyonu
Figure 1. Location of the Darıdere watershed

Jeolojik açıdan havza Üst Kretase dönemine ait kireçtaşları, Pliyosen andezitleri, Eosen flişleri ve Kuvaterner alüvyonlarından oluşan çeşitli formasyonları içermektedir. Havzanın bitki örtüsü, hem alt ve üst yükselti kuşakları hem de kuzey ve güney bakılara göre belirgin farklılıklar göstermektedir. Havzanın güney bakısında yaklaşık 1460 m'lik yükselti kuşağında bitki örtüsü genel olarak meşe, ardıç, alıç ve otsu bitki örtüsünden oluşmaktadır.

Bu yükselti seviyesinden itibaren ise karaçam ve sedir türlerinin birlikte görüldüğü karışık orman formasyonları yer almakta olup bitki örtüsünün tamamen değiştiği saf sedir meşcereleri de görülmektedir. Bakı gruplarına göre kuzey bakıda hâkim olan vejetasyon tipi çoğunlukla karaçam ve meşeden oluşmaktadır (Erol vd., 2009).

2.2. Yöntem

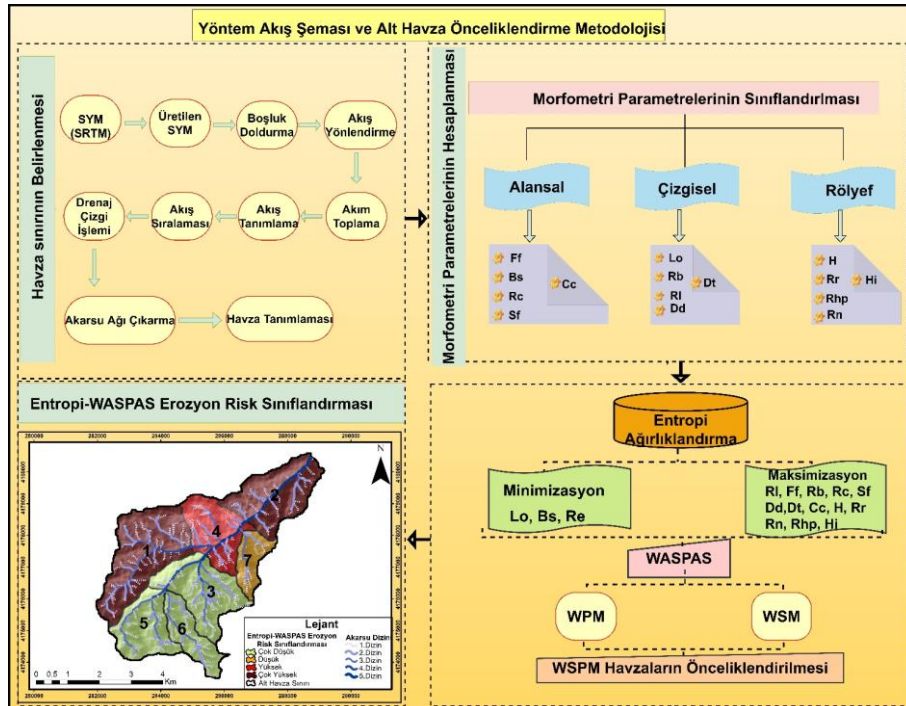
Darıdere havzasının alt havzaları ve drenaj ağı, Mekik Radar Topografya Misyonu (SRTM) uydu verileri kullanılarak 30 m çözünürlüğe sahip SYM üzerinden elde edilmiştir. Morfometri analizleri için temel veri kaynağını oluşturan, SYM'deki boşlukların doldurulmasıyla piksel eksikliği sorunu giderildikten sonra analiz için uygun hale getirilmiştir. Bu düzenlenmiş SYM görüntüsü, akış yönü ve akış birikimi katmanlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Tüm işlemler ArcGIS 10.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (ESRI, 2004; Shafiullah vd., 2025).

SRTM verileriyle oluşturulan drenaj ağları, diğer SYM türlerine kıyasla topografyanın daha gerçekçi bir temsili

sunmakta ve morfometrik analizlerde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır (Basavareddy vd., 2025). Yapılan hidroloji analizi sonucunda Darıdere havzası yedi alt havzaya ayrılmıştır. Araştırma kapsamında, bu alt havzaların morfometrik parametreleri analiz edilerek, erozyona hassas bölgelerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Morfometri parametrelerinin hesaplanması sonrasında değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıkları Entropi tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. İlk aşamada bu ağırlıklar dikkate alınarak, alt havzaların öncelik sıralaması WASPAS yöntemi ile yapılmıştır (Dwivedi ve Sharma, 2024) (Şekil 2).

2.2.1. Morfometri analizi

Morfometrik analizler, bir havzanın sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda doğal kaynaklarının etkin yönetimi ve planlaması açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Bu kapsamda havzanın alt havzalarıyla birlikte hidrolojik yapısının ve drenaj ağının ayrıntılı olarak bilinmesi; sel, taşkın, erozyon, çığ, kuraklık gibi doğal afet risklerinin değerlendirilmesi ve geleceğe yönelik planlamalarda karar vericilere yol göstermesi açısından büyük önem taşımaktadır (Pathare ve Pathare, 2020; Wassie ve Anleye, 2025). Araştırma kapsamında Darıdere havzasında çizgisel, alansal ve rölyef morfometreleri analiz edilmiş ve formülleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Yöntem akış şeması
Figure 2. Methodology flowchart

Çizelge 1. Morfometrik parametrelerin hesaplama kriterleri
Table 1. Calculation criteria of morphometric parameters

Temel Morfometri	Formül	Birim	Kaynak
Havza alanı (A)	CBS işlemi	km ²	-
Havza çevresi (P)	CBS işlemi	km	-
Havza uzunluğu (L _b)	L _b =1.312*A ^{0.568}	km	Schumm (1956)
Çizgisel Morfometri			
Akarsu dizin sayısı (N _u)	N _u = N ₁ +N ₂ + ... N _n	birimsiz	Horton (1945)
Çatallanma oranı (R _b)	R _b = N/N _{u+1}	birimsiz	Horton (1945)
Akarsu uzunluğu (L _u)	Her bir dere CBS ile doğrusal ölçümü	km	Horton (1932)
Ortalama akarsu uzunluğu (L _{um})	L _{um} = L _u /N _u	km	Horton (1945)
Akarsu uzunluk oranı (R _l)	R _l = l _u /l _{u+1}	birimsiz	Horton (1945)
Yüzeysel akış uzunluğu (L _o)	L _o = 1/2D _d	km	Horton (1932)
Drenaj yoğunluğu (D _d)	D _d = L _u /A	km ⁻¹	Schumm (1956)
Drenaj Tekstürü (D _t)	D _t = N _u /P	km ⁻¹	Schumm (1956)
Alansal Morfometri			
Form faktör (F _f)	F _f = A/L _b ²	birimsiz	Horton (1945)
Havza uzunluk oranı (R _e)	R _e = 2/L _b × A ^{0.5} /Π	birimsiz	Schumm (1956)
Şekil faktörü (B _s)	B _s = L _b ² / A	birimsiz	Horton (1945)
Dairesellik oranı (R _c)	R _c = 12.57 × (A/P ²)	birimsiz	Strahler (1964)
Akarsu sıklığı (S _f)	S _f = N _u /A	km ⁻²	Schumm (1956)
Kompaktlık katsayısı (C _c)	C _c = P/2(ΠA) ^{0.5}	birimsiz	Gravelius (1914)
Rölyef Morfometri			
Havza rölyefi (H _r)	R = H-h	km	Strahler (1952)
Rölyef oranı (R _r)	R _r = R/L _b	birimsiz	Schumm (1956)
Bağıl rölyef (R _{hp})	R _{hp} =(H*100/P)	birimsiz	Melton (1958)
Engbelilik değeri (R _n)	R _n = D _d × R	birimsiz	Strahler (1964)
Hipsometrik integral (H _i)	H _i = (H _{ort} - H _{min})(H _{max} - H _{min})	birimsiz	Mayer (1990)

2.2.2. Entropi kriter ağırlıklandırma

Kriterlerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesinde Entropi ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Entropi kavramı; kökenini fizik biliminin termodinamik prensiplerinden almakla birlikte, zaman içinde istatistik, mühendislik ve sosyal bilimlere gibi çeşitli alanlarda yaygın şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Termodinamikte entropi, sistemde işe dönüştürülemeyen ve çevreye yayılan enerji miktarını ifade ederken; olasılık teorisinde ise bilgi belirsizliğinin bir ölçütü olarak kabul edilmektedir (Durmaz ve Gölcük, 2023).

Entropi yöntemi, birbirini takip eden ve birbirine bağlı beş aşamadan oluşur ve her aşamadaki işlemler tamamlanmadan bir sonraki aşamaya geçilmesi mümkün olmamaktadır. Bu yöntem, ÇKKV, karar matrisinin oluşturulması ile başlayıp, sırasıyla aşağıdaki aşamaları içermektedir (White vd., 1982; İşler ve Çalık, 2022).

1. Aşama: Karar Matrisinin Hazırlanması

İlk olarak, her alternatifin ilgili kriterler doğrultusunda aldığı performans değerlerinden oluşan karar matrisi hazırlanır. Ardından, kriterlerin fayda ya da maliyet özelliğine bağlı olarak uygun normalizasyon yöntemi uygulanır (Denklem 1).

$$r_{ij} = \{x_{ij} | \max_{ij}\} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

$$r_{ij} = \{x_{ij} | \min_{ij}\} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

2. Aşama: Karar Matrisinin Normalizasyonu

Kriterlerin farklı ölçü birimlerine sahip olması nedeniyle, karar matrisindeki tüm değerler uygun bir normalizasyon sürecine tabi tutulur. Bu işlem sayesinde, farklı birim ve ölçeklerdeki veriler 0 ile 1 arasında bir değere dönüştürülerek analiz sürecinde karşılaştırılabilirlik ve tutarlılık sağlanır. Bu aşama, belirli bir normalizasyon formülüne dayanılarak uygulanır. Her bir karar matrisi elemanı, kendi kriterine ait

toplam değere bölünerek normalize edilir. Bu yöntemle, tüm değerler karşılaştırılabilir ölçeğe indirgenmiş olur (Denklem 2).

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (2)$$

Bu formülde kullanılan terimler aşağıda gösterilmektedir: i alternatif değeri, j kriter değeri, p_{ij} normalize edilmiş değerler

3. Aşama: Entropi Değerlerinin Bulunması

Bu aşamada, her bir değerlendirme kriterine ait Entropi değerleri (e_j), denklem (3) doğrultusunda hesaplanmaktadır.

Bu hesaplama sonucunda karar verici kriterin karar sürecine ne ölçüde katkı sağladığını öğrenmektedir.

$$E_j = -k * \sum_{i=1}^m P_{ij} * \ln (P_{ij}) \quad (3)$$

Burada; k entropi katsayısı, P_{ij} normalize edilmiş değerler, E_j entropi değeri.

4. Aşama: Farklılaşma Derecelerinin Belirlenmesi

Önceki adımda elde edilen entropi değerleri temel alınarak, her bir kriter için farklılaşma dereceleri olan d_j değerleri her bir kriter için denklem (4)'te gösterilen şekilde hesaplanır. Bu aşama, kriterlerin karar mekanizmasına olan katkı düzeylerinin sayısal temelde değerlendirilebilmesini mümkün kılar.

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

5. Aşama: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Bu aşamada, her kriterin farklılaşma derecesi toplam farklılaşma değerine oranlanarak ağırlık katsayıları (w_j) denklem (5) ile hesaplanmaktadır. Bu sayede, karar sürecine

etki eden her bir kriterin görece önemi, nicel bir yaklaşımla belirlenmiş olur.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

2.2.3. WASPAS yöntemi ile havza önceliklendirmesi

WASPAS, son yıllarda ÇKKV süreçlerinde özellikle toprak duyarlılığı analizleri alanında giderek daha fazla benimsenmekte ve hem uygulayıcılar hem de araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın, özellikle erozyon riski taşıyan alt havzaların tespiti ve önceliklendirilmesinde başarılı ve güvenilir sonuçlar sağladığı bildirilmektedir (Sarkar ve Gayen, 2024). WASPAS, Ağırlıklı Toplam Modeli (WSM) ile Ağırlıklı Çarpım Modeli'nin (WPM) avantajlarını bir araya getiren hibrit bir karar destek sistemidir. İlk defa Zavadskas vd. (2012) tarafından ortaya konmuş olan bu yöntem, günümüzde mühendislik, çevre yönetimi, ormancılık ve işletme gibi çeşitli disiplinlerde yaygın uygulama alanı bulmuştur. Mevcut literatürde yer alan karşılaştırmalı çalışmalar, WASPAS'ın alternatifleri sıralamada yüksek doğruluk ve sağlamlık sunduğunu göstermektedir (Badalpur ve Nurbakhsh, 2021; Aytekin vd., 2022; Akay vd., 2023).

Bu yöntemde izlenen adımlar şu şekildedir:

1. Aşama: Karar matrisinin oluşturulması denklem 6'ya göre yapılmaktadır.

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada; m aday alternatiflerin sayısıdır, n ise değerlendirme kriterleri sayısını göstermektedir. x_{ij} , j'inci kriter göz önüne alınarak i'inci alternatifin performansidir.

2. Aşama: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

WASPAS yönteminde, doğrusal normalizasyon işlemi aşağıda verilen iki denklem aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Fayda yönlü kriter eşitliği denklem 7'de ve maliyet kriterleri denklem 8'de verilmiştir.

Fayda kriterleri için kullanılacak olan denklem;

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (7)$$

Maliyet kriterleri için kullanılacak olan denklem;

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (8)$$

Burada x_{ij} değeri x_{ij} değerinin normalize edilmiş halidir.

3. Aşama: WSM' ye göre alternatifin toplam görece öneminin hesaplanması

WASPAS yönteminde, iki eşitlik kriteri temel alınarak, eşzamanlı, bir değerlendirme yapılır. Bu aşamada, her bir alternatifin toplam görece önemi; o alternatife ait her bir kriter

değerinin, ilgili kriterin ağırlığıyla çarpılmasıyla elde edilir. Ardından, bu çarpım sonuçları toplanarak her alternatif için genel bir değer hesaplanır. Bu işlem denklem 9'a göre gerçekleştirilir.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} * w_j \quad (9)$$

4. Aşama: WPM'ye dayalı i. alternatifin toplam nispi önem hesaplanması Normalize edilmiş karar matrisi üzerinden her bir i. alternatif kriterinin değeri için ilgili kriter ağırlığının kuvveti alınır ve bulunan değerler her bir alternatif için sırasıyla çarpılarak $Q_i^{(2)}$ denklem 10'a göre hesaplanmaktadır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

5. Aşama: WSM ve WPM için ağırlıklandırılmış ortak genel kriter değerinin hesaplanması

WSM ve WPM yaklaşımlarından hesaplanan sonuçların eşit ağırlıklı ortalaması, her bir alternatifin toplam görece önemini ifade etmektedir (Denklem 11). Bu çalışmada $\lambda = 0.5$ değeri sabit alınmıştır.

$$Q_i = \lambda * Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) * Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} * w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (11)$$

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Morfometri analizi

3.1.1. Çizgisel morfometri parametreleri

Dere sırası ve sayısı Strahler (1964)'e göre Darıdere havzası 5'inci dereceden havza olarak tanımlanmıştır. Darıdere havzasında yapılan analizler, havzanın eğimli kesimlerinde birinci dereceden akarsu sayısının belirgin şekilde fazla olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, hem topografik eğimin yüksekliğini hem de altta yatan litolojinin geçirimsiz ve sıkı yapısını yansıtan bir göstergedir. Strahler dere sıralama yöntemi esas alınarak yapılan değerlendirmede, dere ağının en uç noktalarında yer alan kolların birinci dereceden akarsular oluşturduğu, bu kolların birleşerek ikinci dereceden akarsuları meydana getirdiği ve bu sürecin aynı sistematikte devam ederek ana dere kolunun oluşumuna kadar sürdüğü belirlenmiştir. Alt havzalar düzeyinde yapılan sıralama ve akarsu sayısı tahminlerine göre, yedi alt havzada toplam 446 adet akarsu tespit edilmiştir. Bu akarsuların 254'ü birinci derecedendir ve bu, toplam akarsu sayısının %57'sine karşılık gelmektedir. Elde edilen bulgulara göre, çalışma alanında birinci dereceden akarsular, frekans bakımından en yoğun sınıfı oluşturmaktadır. Bu dağılım, dere ağının yapısal özellikleri hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

Çizelge 2'ye bakıldığında Darıdere havzasının en büyük akarsu dizin sayısı 5. dizin olup (Nu) 28-99 arasında değişmektedir. Nu'nun minimum değer aldığı AH-7 iken maksimum değer aldığı AH-3' tür. Alt havzalar için birinci dereceden akışların en yüksek frekansı sergilediği söylenebilir.

Çizelge 3'e göre alt havzaların Lu değeri 5.85- 21.32 arasında değişmektedir. Minimum değer alan AH-7 maksimum değer alan havza ise AH-1'dir. Bir derenin uzunluğunun, bölgedeki yüzeyel akış özelliklerini göstermesi nedeniyle havzanın önemli özelliklerinden biridir.

Çizelge 4'te 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı dere uzunlukları sırasıyla 52.44, 22.83, 14.04, 4.81, 5.05 km olarak ölçülmüştür. Toplam dere uzunluğu 99.17 km'dir. Maksimum birinci dereceden Lu (52.44 km) ve ortalama 5 dereceden Lu (5.05 km) olarak hesaplanmıştır.

Akarsu uzunluk oranı (Rl), 1.67-4.55 arasında değişim göstermektedir. Rl minimum değeri AH-7 maksimum değeri ise AH-2'dir (Çizelge 4). Matpay (2024) de benzer şekilde yürüttüğü morfometri çalışmasında, yüksek Rl değerlerine sahip havzalarda akışların eşzamanlı birleşmesi sonucu taşkın potansiyelinin arttığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, mevcut çalışmada elde edilen verilerle paralellik göstermektedir. Dolayısıyla Rl nin yüksek olması taşkın ve erozyon riski ile doğru orantılı olmaktadır.

Yüzeysel akış uzunluğu (Lo) değerinin düşük olması, arazinin eğiminin fazla olduğunu, yüzeysel akışın arttığını ve buna bağlı olarak toprak erozyonu açısından daha yüksek bir duyarlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, yüksek Lo değerleri daha düşük eğimli alanları ve dolayısıyla daha düşük erozyon potansiyelini ifade eder (Jothimani vd., 2021). Çalışma alanında Lo değerlerinin 1.55–2.39 arasında değiştiği ve bu dağılımın gösterildiği anlaşılmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, gevşek üst toprak tabakasının erozyona en fazla maruz kalabileceği alan AH-2 olarak belirlenmiştir. Buna karşın, erozyon riskinin en düşük olduğu alanın ise AH-3 olduğu görülmektedir. Bu durum, Lo değerinin erozyon duyarlılığı ile olan ilişkisini ortaya koymakta ve risk analizi açısından önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Çatallanma Oranı (Rb), bir havzanın morfometrik yapısını değerlendirmede kullanılan önemli bir parametre olup havzanın hidrolojik davranışı hakkında bilgi sunar. Yüksek Rb değerleri, karmaşık bir akış ağı yapısına ve zayıf geçirgenliğin göstergesidir. Bu durum, yağışın hızlı bir şekilde yüzeysel akışa dönüşmesine neden olarak kısa konsantrasyon süresi ve artan taşkın riski ve erozyon ile sonuçlanabilir (Singh vd., 2025). Çalışma alanında yer alan alt havzalarda Rb oranı 2.75 ile 7.54 arasında değişmektedir. En düşük Rb değerine sahip olan AH-4 olarak belirlenmişken, en yüksek değere sahip olan ise AH-1'dir (Çizelge 4). AH-4 havzasının düşük Rb değeri, daha düzenli bir drenaj sistemine ve daha düşük sel potansiyeline işaret ederken; AH-1'in yüksek Rb değeri, karmaşık akış yapısı ve yüksek sel taşkın ve erozyon riski ile dikkat çekmektedir. Bu nedenle, AH-1 havzası, risk değerlendirmelerinde öncelikli müdahale gerektiren bir alandır.

Çizelge 2. Akarsu dizin sayıları

Table 2. Stream order numbers

AH	1. Nu	2. Nu	3. Nu	4. Nu	5. Nu
AH-1	54	22	19	1	
AH-2	36	19	2		1
AH-3	51	22	11	14	1
AH-4	31	13	5	5	1
AH-5	39	13	17	1	
AH-6	26	13	1		
AH-7	17	10	1		
Toplam Nu	254	112	56	21	3

Çizelge 3. Akarsu dizin uzunlukları

Table 3. Stream order lengths

AH	1. Lu	2. Lu	3. Lu	4. Lu	5. Lu	AH Lu
AH-1	11.72	5.62	2.74	1.25		21.32
AH-2	6.46	3.92	0.33		2.99	13.70
AH-3	11.64	3.88	2.35	2.25	0.29	20.41
AH-4	7.22	4.09	1.17	0.72	1.77	14.97
AH-5	6.45	1.77	3.82	0.58		12.62
AH-6	5.80	2.23	2.26			10.29
AH-7	3.15	1.33	1.37			5.85
Toplam Lu	52.44	22.83	14.04	4.81	5.05	99.17

Singh vd. (2025) tarafından farklı bir araştırma sahasında yapılan çalışmada da benzer bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmada alt havzalarda Rb değerlerinin 1.08 ile 3.37 arasında değiştiği ve yüksek Rb değerlerinin, dik yamaçlar, hızlı yüzey akışı ve sınırlı drenaj kapasitesi ile ilişkili olarak taşkın riskini artırdığı belirtilmiştir. Düşük Rb değerlerinin ise daha stabil bir drenaj yapısına ve daha az taşkın potansiyelini gösterdiği ifade edilmiştir. Mevcut araştırmanın bulguları da bu sonuçları destekler niteliktedir.

Drenaj yoğunluğu (Dd), toprak erozyonu hesaplamalarında kullanılan ve hassas bir göstergedir. Dd, 3.11-4.78 km⁻¹ arasında değişmektedir. Dd değerlerine Çizelge 4'e bakıldığında minimum değerin AH-2 maksimum değerin ise AH-3'te olduğu görülmektedir. Basavareddy vd. (2025) tarafından ortaya konan bulgulara benzer şekilde, Dd havzanın yüzeysel akış karakteristiğini ve erozyona karşı duyarlılığını değerlendirmede önemli bir morfometrik göstergedir. AH-10 alt havzasında ölçülen yüksek Dd, sık akarsu ağına bağlı olarak taşkın ve erozyon riskinin arttığını göstermektedir. Buna karşılık, AH-11'deki düşük Dd değeri, daha seyrek drenaj yapısıyla birlikte bu risklerin daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, havza morfometrisinin taşkın ve erozyon duyarlılığı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ve literatürle tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Drenaj tekstürü (Dt)'nin minimum değer aldığı havza 2.42 ile AH-7 maksimum değer aldığı 4.63 ile AH-3'dir. Smith (1950)'ye göre Dt çok kaba (< 2), kaba (2-4), orta (4-6), ince (6-8) ve çok ince (> 8) olarak sınıflandırılır. Dt sınıflandırmasına göre alt havzalar kaba ve orta sınıf arasında değişmektedir. Çizelge 4'te verilen Dt değerlerine göre AH-7, AH-6, AH-2 ve AH-4 kaba sınıfta yer almakta ve görece düşük erozyon duyarlılığı göstermektedir. Buna karşılık AH-1, AH-5 ve AH-3 orta sınıfta değerlendirilmekte olup, bu havzalar daha yoğun drenaj ağına sahip olmaları nedeniyle erozyona en duyarlı alanlar olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen bulgular, drenaj tekstüründeki artışın alt havzaların erozyona duyarlılığını belirgin biçimde yükselttiğini ortaya koymaktadır.

3.1.2. Alansal morfometri parametreleri

Strahler (1964)' e göre Ff (> 0.78), yüksek tepe akışları olan dairesel bir havzayı ifade ederken, Ff (< 0.45) ise ilgili havzanın uzunlamasına bir havza olduğu sonucu çıkmaktadır. Form faktörü (Ff) 0'a yaklaştıkça havza daha uzun bir şekil kazanır ve suyu geç toplar; bu nedenle yüzeysel akış hızı yavaşlamaktadır. Bu durum da havzada zayıf derelerin olduğunu göstermektedir (Dursun ve Babalık, 2023).

Çizelge 4. Çizgisel morfometri parametreleri
Table 4. Linear morphometry parameters

AH	Lb	Rb	Rl	Lo	Dd	Dt
AH-1	3.61	7.54	2.11	1.79	3.59	4.11
AH-2	3.05	4.46	4.55	1.55	3.11	3.14
AH-3	2.99	4.78	3.38	2.39	4.78	4.63
AH-4	2.60	2.75	1.82	2.25	4.50	3.48
AH-5	2.52	6.92	3.55	2.00	3.99	4.46
AH-6	2.04	7.50	1.79	2.36	4.71	2.92
AH-7	1.68	5.85	1.67	1.89	3.79	2.42

Araştırmada Ff değerleri incelendiğinde 0.46-0.55 arasında değişmektedir. Araştırmada Çizelge 5'te verilen Ff değerlerine bakıldığında havzadaki en düşük Ff değeri 0.46 ile alt havza 1 (AH-1)'de iken, maksimum değer AH-7'de tespit edilmiştir. Ff'nin düşüklüğü erozyon ve sedimentin riskinin düşük olduğu sonucunu vermektedir (Soni, 2017). Araştırma bulgularına göre, Ff değerleri düşük olan AH-1 görece düşük erozyon duyarlılığı sergilerken, yüksek Ff değerine sahip AH-7'de erozyon duyarlılığının belirgin biçimde arttığı gözlemlenmiştir.

Havza uzunluk oranı (Re), bir havzanın biçimsel özelliklerini ve eğim yapısını değerlendirmede kullanılan önemli morfometrik bir parametredir. Bu oran; dairesel (0.9–1.0), oval (0.8–0.9), az uzamış (0.7–0.8), uzamış (0.5–0.7) ve daha uzamış (<0.5) olmak üzere sınıflandırılabilir. Re değerinin düşük olması, havzanın uzun ve dar bir formda olduğunu ve düşük eğim koşullarına sahip bulunduğunu gösterir. Buna karşılık, yüksek Re değerleri daha çok dairesel şekilli havzaları temsil eder ve bu durum, yüzey akışının sınırlı olduğunu göstermektedir. Re, alt havzalar arasında 0.43-0.47 arasında değişmektedir. Bu değerler arasında en düşük Re oranı AH-1 de, en yüksek değer AH-7'de tespit edilmiştir. Bu bulgular, genel olarak çalışılan havzanın oldukça uzamış olduğunu göstermektedir. Uzamış havzalar, düşük eğimli yüzeylerde daha uzun süreli yüzey akışı ile karakterize edilir ve bu durum, erozyon süreçlerinin daha etkin olmasına neden olmaktadır (Dursun, 2025).

Şekil faktörü (Bs), bir havzanın geometrik yapısının akış süreçlerine etkisini değerlendirmede kullanılan temel morfometrik göstergelerden biridir. El Abassi vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, Bs değerinin yüzeyel akış, sediment taşınımı, drenaj uzunluğu gibi hidromorfolojik parametreleri doğrudan etkilediği vurgulanmıştır. Çalışma alanındaki alt havzalar incelendiğinde, Bs değerlerinin 1.83 ile 2.19 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, en düşük Bs değerine sahip havza AH-7 iken, en yüksek Bs değeri AH-1 havzasında tespit edilmiştir. Ayrıca El Abassi vd. (2024) tarafından bildirilen verilere göre, alt havzalar arasında AH-8, 2.64 ile en düşük Bs değerine sahip olup, bu durum havzanın yüksek aşınabilirlik ve dolayısıyla erozyona karşı yüksek duyarlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, AH-10 havzası 4.96 ile en yüksek Bs değerine sahip olup, erozyona karşı daha düşük bir hassasiyeti ifade etmektedir.

Dairesellik Oranı (Rc), bir havzanın jeomorfik evrim sürecinde genç, olgun ve yaşlı aşamaları temsil eden sırasıyla düşük, orta ve yüksek değerler alır (Magesh vd., 2011). Rc'nin düşük olması, infiltrasyonun fazla olduğunu ve yüzeyel akışın daha yavaş gerçekleştiğini gösterir. Dolayısıyla erozyon riskinin azalmasına neden olur. Çizelge 5 incelendiğinde, en düşük Rc oranı 0.35 ile AH-6, en yüksek değer ise 0.53 ile AH-4'te tespit edilmiştir.

Araştırma alanındaki akarsu sıklığı (Sf) değerleri 13.14 ile 23.20 arasında değişmektedir (Çizelge 5). En düşük Sf

değeri AH-2, en yüksek değer ise AH-3 havzasında gözlemlenmiştir. Düşük Sf değerleri, genellikle yüzey altı malzemesinin daha geçirgen olduğu, yüzeyel akışın sınırlı gerçekleştiği ve rölyefin görece olarak düşük olduğunu göstermektedir (Reddy vd., 2004). Buna karşılık, yüksek Sf değerleri daha yoğun yüzey akışı ile ilişkilendirilmekte olup, bu durum akarsu ağının daha gelişmiş olduğu, yüzeyin taşlı ve geçirgenliğin zayıf olduğu alanlardır. Bu tür özellikler, erozyon süreçlerini hızlandırıcı etki gösterirken; düşük Sf değerleri daha stabil yüzey koşullarına ve dolayısıyla daha düşük erozyon potansiyelini ortaya koymaktadır (Ameri vd., 2018).

Kompaktlık katsayısı (Cc) düşük değer alırsa o havzanın uzunlamasına bir havza olduğunu ve erozyon riskinin az olduğunu göstermektedir (Yazıcı ve Ünsal Eceoğlu, 2025). Cc'nin yüksek değer alması ise erozyon riskinin yüksek olacağının bir göstergesidir (Dursun ve Babalık, 2023). Araştırma alt havzalarının Cc değerleri 1.38-1.70 arasında değiştiği görülmektedir. Alt havzalar arasında minimum Cc değeri AH-4, maksimum değer ise AH-6'dır (Çizelge 5). Sarkar vd. (2022) tarafından, Pindar havzası'nda gözlenen Cc değerleri 0.098 (AH-15) ile 0.273 (AH-27) arasında değişim göstermektedir (Çizelge 5). En düşük Cc değeri AH-15'te tespit edilmiş olup, bu durum havzanın daha uzun akış yollarına sahip olduğunu ve dolayısıyla arazi aşınma riskinin daha az olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, AH-27'deki yüksek Cc değeri, yüzeyel akışın daha yoğun ve hızlı gerçekleştiği, bu nedenle erozyon potansiyelinin arttığını göstermektedir. Bu sonuçlar, Cc'nin havza erozyon duyarlılığı üzerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir.

3.1.3. Rölyef morfometri parametreleri

Havza Rölyefi (H), 469-885m arasında değişmektedir. H'nin en düşük değeri AH-2, en yüksek değeri ise AH-3'te olduğu Çizelge 6'da görülmektedir. Basavareddy vd. (2025), yaptıkları çalışmada H ile toprak erozyonu arasındaki ilişkiye dikkat çekmiş ve yüksek rölyef değerlerinin, artan eğim nedeniyle erozyon riskini önemli ölçüde artırabileceğini belirtmiştir. Bu yaklaşıma paralel olarak, mevcut çalışmada da H ile potansiyel erozyon riski arasında benzer bir eğilim gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, çalışmada rölyef değişkeni, alt havzaların erozyona duyarlılığının belirlenmesinde ayırt edici bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Literatürdeki bilgiler değerlendirildiğinde AH-3'ün yüksek H değerleri nedeniyle erozyon bakımından öncelikli alt havza olduğu söylenebilir.

Rölyef Oranı (Rr) değerleri 0.13 ile 0.41 arasında değişkenlik göstermiştir. Lakshminarayana vd. (2022), Brahmaputra Vadisi'nde gerçekleştirdikleri çalışmada, Rr havzanın genel eğimini ve morfolojik bozulma süreçlerini yansıttığını ve bu oranın özellikle erozyon potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olduğunu vurgulamışlardır. Benzer şekilde, mevcut analizde de Rr değerleri havza eğim karakteristiklerini ortaya koymuş ve alt havzaların morfolojik duyarlılıklarını karşılaştırmada önemli bir ölçüt sunmuştur.

Rr, havza rölyefinin toplam uzunluğa oranlanmasıyla elde edilir ve genellikle alan, yükselti farkı ve Bs gibi etmenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yüksek Rr değerleri, dik eğimler, küçük drenaj alanı ve dairesel havza formu gibi özelliklerle ilişkilidir ve bu durum, erozyon süreçlerinin daha aktif olabileceğini gösterir.

Çizelge 5. Alansal morfometri parametreleri
Table 5. Areal morphometry parameters

AH	A	Ff	Re	Bs	Rc	Sf	Cc
AH-1	5.95	0.46	0.43	2.19	0.43	16.15	1.52
AH-2	4.41	0.47	0.44	2.11	0.42	13.14	1.54
AH-3	4.27	0.48	0.44	2.10	0.44	23.20	1.50
AH-4	3.33	0.49	0.45	2.03	0.53	16.53	1.38
AH-5	3.16	0.50	0.45	2.01	0.52	22.14	1.39
AH-6	2.18	0.52	0.46	1.91	0.35	18.32	1.70
AH-7	1.54	0.55	0.47	1.83	0.39	18.13	1.59

Bu çalışmada Rr değerleri 0.13 ile 0.41 arasında değişkenlik göstermiştir. En düşük Rr, AH-1 alt havzasında belirlenmiş olup bu durum alanın daha az eğimli ve nispeten yatay bir morfolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, en yüksek Rr değeri 0.41 ile AH-6'da ölçülmüş ve bu durum, dik yamaçların ve yüksek rölyefin hâkim olduğu bir topoğrafyayı işaret etmektedir (Çizelge 6). Bu bulgular bazı alt havzaların daha dik topoğrafik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, Rr hem yüzey eğimi hem de potansiyel erozyon süreçleri açısından alt havzaların karakteristiklerini yansıtan önemli bir göstergedir.

Bağıl rölyef (Rhp) değerleri 0.04 ile 0.09 arasında değişkenlik göstermiştir. En düşük Rhp değeri AH-1'de belirlenmiş olup, bu durum söz konusu havzanın daha az eğimli ve topoğrafik açıdan daha yatay bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. En yüksek Rhp değeri ise 0.09 ile AH-7'de tespit edilmiştir (Çizelge 6). Bu bulgu, AH-7'nin daha yüksek topoğrafik farklılıklar ve daha dik eğimlerle karakterize olduğunu, dolayısıyla erozyon riski açısından daha hassas bir konumda yer aldığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Meshram vd. (2020), Rhp yükseklik değişimini temsil eden önemli bir morfometrik parametre olduğunu ve toprak erozyonu ile pozitif doğrusal bir ilişki içerisinde bulunduğunu belirtmiştir. Rhp, özellikle drenaj ağının eğimine bağlı olarak hidrolojik süreçleri etkileyen temel göstergelerden biri olarak değerlendirilmektedir. Erdoğan Yüksel vd. (2024) ise, düşük Rhp değerlerinin genellikle, ayrışmaya açık kırıntılı kayaların egemen olduğunu ve bu yapıların yüzeyel bozulma süreçlerine daha yatkın olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda değerlendirildiğinde, çalışmada elde edilen Rhp bulguları hem bölgesel jeomorfolojik özellikleri hem de potansiyel erozyon riski açısından anlamlı sonuçlar sunmaktadır.

Engelibellik değeri (Rn) değerleri 1.46 ile 4.23 arasında değişkenlik göstermektedir. En düşük Rn değeri AH-2 alt havzasında belirlenmiş olup bu durum, söz konusu havzanın daha düşük eğime ve daha geçirgen jeolojik birimlere sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, en yüksek Rn değeri 4.23 ile AH-3 alt havzasında ölçülmüş ve bu havzanın daha dik eğimlere, daha az geçirgen zemin koşullarına ve dolayısıyla daha yüksek yüzey akışı potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 6). Bu farklılıklar, AH-3'ün taşkın riski ve yüzeyel akış açısından daha hassas bir yapıya sahip olabileceğini göstermektedir.

Benzer şekilde, Coşkun ve Öztürk (2022) yaptıkları çalışmada, Rn değerinin yüksekliğinin havza eğiminin artışına, zeminin geçirimsizlik düzeyinin yükselmesine ve yüzeyel akışın miktarındaki artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, yüksek Rn değerlerine sahip havzaların erozyona karşı daha duyarlı olabileceği de ifade edilmiştir. Bu bağlamda, elde edilen bulgular hem taşkın yönetimi hem de erozyon kontrolü açısından havza morfometrisinin önemli bir göstergesi olarak Rn

değişkeninin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Hipsometrik integral (Hi) değerleri 0.36 ile 0.56 arasında değişim göstermektedir. Bu değer aralığı, çalışma alanındaki tüm alt havzaların erozyon döngüsünde olgun veya denge aşamasında bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, arazi yüzeyinde belirli bir aşınmanın gerçekleştiği, ancak topoğrafyanın genel olarak dengeye ulaştığı ve erozyon süreçlerinin kontrollü bir şekilde işlediği bir morfolojik durumu ifade eder. Çizelge 6 incelendiğinde, en düşük Hi değeri 0.36 ile AH-3 alt havzasında, en yüksek Hi değeri ise 0.56 ile AH-6 alt havzasında gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, AH-6'nın görece olarak daha genç topoğrafik özellikler taşıdığını ve daha yüksek rölyef değerleri sergilemektedir. Buna karşın AH-3'ün daha fazla aşınmaya maruz kalmış olabileceğini göstermektedir. Strahler (1952) ve Basavareddy vd. (2025) tarafından yapılan çalışmalarda, Hi değerlerinin erozyon döngüsünün belirli aşamalarını yansıttığı ve buna bağlı olarak erozyon riskinin de değiştiği belirtilmiştir. Buna göre, Hi değeri 0.3'ün altında olan havzalar tamamen aşınmış ve stabilize olmuş alanları, 0.3 ile 0.6 arasında olanlar olgun ya da denge aşamasını ve 0.6'nın üzerindeki ise genç, topoğrafik olarak aktif ve erozyona karşı hassas bölgeleri temsil etmektedir. Bu bağlamda, çalışma alanındaki havzaların çoğunlukla denge aşamasında yer alması, bölgedeki topoğrafik gelişimin görece bir istikrara kavuştuğunu, ancak yine de belirli alanlarda (örneğin AH-6 gibi) dinamik süreçlerin sürdüğünü ortaya koymaktadır.

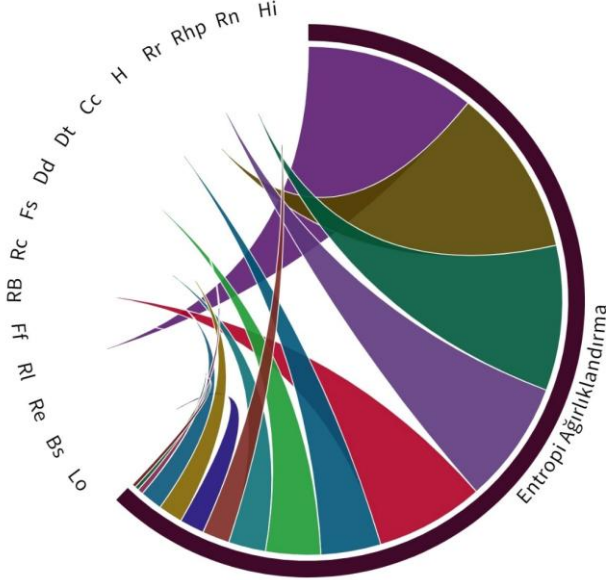
3.2. Entropi- WASPAS havzaların önceliklendirmesi

Kriter ağırlıklarının nesnel biçimde belirlenebilmesi amacıyla Entropi ağırlıklandırma yöntemi uygulanmış olup, ağırlıklar kriterlerin bilgi entropisine dayalı olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre en yüksek ağırlık değeri 0.174 ile R1 kriterine aiten, bunu sırasıyla Rr (0.172), Rn (0.148) ve Rhp (0.125) izlemiştir. Orta düzeyde ağırlık değerleri Lo (0.025), Dd (0.025), Hi (0.028), Sf (0.038) ve Rc (0.022) kriterlerinde gözlemlenmiştir. Buna karşın, Bs (0.004), Ff (0.004), Cc (0.006) ve özellikle Re (0.001) oldukça düşük ağırlık değerlerine sahip bulunmuştur (Şekil 3). Bu dağılım, Entropi yönteminin veriye dayalı yapısı sayesinde kriterler arasındaki bilgi katkısını nesnel biçimde ortaya koyduğunu ve karar sürecini sağlam temellere dayandırdığını göstermektedir.

Çalışmada, Entropi tabanlı ağırlıklandırma ile nesnel kriter ağırlıkları belirlenmiş ve WASPAS yöntemiyle alt havzalar bütüncül olarak değerlendirilmiştir. λ katsayısının 0.5 olarak alınması, WSM ve WPM modellerinin etkisini dengeleyerek hem mutlak hem de görece farklılıkların analizde eşit düzeyde yansıtılmasını sağlamıştır. Elde edilen sıralama, alt havzaların çevresel performanslarının farklılaştığını ve yönetim önceliklerinin belirlenmesinde bu yöntemin karar vericiye sistematik bir bakış açısı sunduğunu göstermektedir. Yüksek öncelik alan havzaların, su kalitesi ve arazi kullanımı gibi çevresel baskıların daha yoğun olduğu alanlar olması, yöntemin çevresel koşulları doğru yansıttığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, WASPAS ve Entropi entegrasyonu, nesnel, tekrarlanabilir ve karar destek süreçlerine uygun bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır (Akay vd., 2024).

Çizelge 6. Rölyef morfometri parametreleri
Table 6. Relief morphometry parameters

AH	H	Rr	Rhp	Rn	Hi
AH-1	482	0.13	0.04	1.73	0.42
AH-2	469	0.15	0.04	1.46	0.41
AH-3	885	0.30	0.08	4.23	0.36
AH-4	603	0.23	0.07	2.71	0.38
AH-5	636	0.25	0.07	2.54	0.53
AH-6	835	0.41	0.09	3.94	0.56
AH-7	665	0.40	0.09	2.52	0.43



Şekil 3. Morfometri parametrelerinin entropi ağırlıkları
Figure 3. Entropy weights of morphometry parameters

Akay vd. (2023) tarafından yürütülen çalışmada, il düzeyinde sediment riski değerlendirmesi için Entropi temelli WASPAS yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, bağıl toplam değerlerin hesaplanmasında λ katsayısı 0.5 olarak belirlenmiş; böylece klasik WASPAS yaklaşımında yer alan ağırlıklı toplam ve çarpımsal değerlendirme yöntemlerinin eşit katkı sağladığı bir denge oluşturulmuştur. Analiz sonucunda hesaplanan birleşik optimalite değeri (Q_i), illerin sediment riski bakımından göreceli olarak sıralanmasında temel gösterge olarak kullanılmıştır. Q_i değerinin yüksekliği, ilgili ilin daha fazla sediment riski taşıdığına; düşük değerler ise daha az risk düzeyinde olduğunu göstermektedir. Bu yöntem aracılığıyla, iller arasında sediment riski bakımından karşılaştırmalar yapılabilmüş ve yerel ölçekte karar vericilere yönelik önceliklendirme fırsatı sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, ÇKKV tekniklerinin sediment riski analizlerinde etkili ve karar destekleyici bir araç olarak kullanılabileceğini bir kez daha ortaya koymuştur.

WASPAS yönteminde, analiz sonucunda elde edilen VSPM değerleri, alt havzaların yönetsel açıdan öncelik sıralamasını yansıtmaktadır. Buna göre, AH-1 alt havzası 0.817 ile en yüksek tercih skoruna sahip olup, tüm alt havzalar içerisinde en kritik yönetim alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, AH-1'in ele alınan kriterler (örneğin: su kalitesi, toprak erozyonu, arazi kullanımı baskısı, eğim gibi) açısından diğer havzalara kıyasla daha olumsuz koşullara sahip olduğunu ve öncelikli müdahale gerektirdiğini göstermektedir. Sıralamada AH-1'i, 0.781'lik skor ile AH-2 ve 0.721 ile AH-4 takip etmektedir (Çizelge 7).

Bu havzalar da yüksek öncelikli alanlar arasında yer almakta olup, doğal kaynak yönetimi ve planlaması açısından stratejik müdahalelere ihtiyaç duyabilecek bölgeler olarak öne çıkmaktadır. AH-7 (0.627) orta düzeyde öncelik taşıyan bir alt havza olarak değerlendirilirken, AH-5 (0.554) ve AH-6 (0.541) daha düşük öncelikli bölgeler arasında yer almaktadır. AH-3 ise 0.511 ile en düşük tercih değerine sahiptir ve bu nedenle kısa vadede acil müdahale gerektirmeyen bir konumda bulunmaktadır.

WASPAS yöntemi, havza bazlı planlamalarda erozyon, sel riski azaltımı, arazi kullanım baskılarının kontrolü ve sürdürülebilir uygulamaların belirlenmesi açısından karar vericilere analitik bir destek sunmaktadır. WASPAS yöntemi, toplam ve çarpımsal değerlendirmeleri entegre ederek daha dengeli sonuçlar üretmiş; Entropi tabanlı ağırlıklandırma ise nesnel kriter önceliklendirmesi sağlayarak bilimsel güvenilirliği artırmıştır. Bu yaklaşım, yalnızca mevcut durumu analiz etmekle kalmayıp, aynı zamanda bölgesel politika ve yatırım kararlarında yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır. Gelecekte zamansal analizler ve sosyo-ekonomik kriterlerle yöntemin kapsamı genişletilebilir.

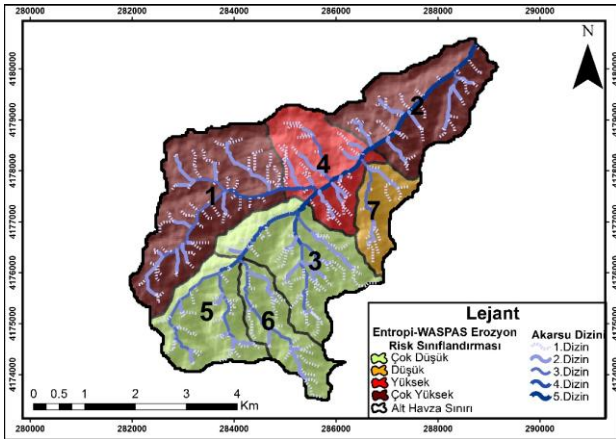
Çizelge 8'e bakıldığında, alt havzaların erozyon risk seviyelerinin önemli ölçüde farklılaştığı görülmektedir. VSPM skoruna göre, AH-1 (0.817) ve AH-2 (0.781), çok yüksek erozyon riski grubunda yer almaktadır. AH-4 (0.721), yüksek risk seviyesinde sınıflandırılırken, AH-7 (0.627) düşük risk düzeyinde değerlendirilmiştir. Diğer yandan, AH-3 (0.511), AH-5 (0.554) ve AH-6 (0.541), çok düşük erozyon riski seviyesinde yer almaktadır (Şekil 4). Bu dağılım, havza genelinde risk düzeylerinin homojen olmadığını ve müdahale önceliklerinin alt havza ölçeğinde farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 7. Entropi tabanlı WASPAS ile havza önceliklendirmesi
Table 7. Watershed prioritization with entropy-based WASPAS

AH	WSM	WPM	WSPM	Öncelik sıralaması
AH-1	0.835	0.800	0.817	1
AH-2	0.805	0.757	0.781	2
AH-3	0.520	0.501	0.511	7
AH-4	0.732	0.710	0.721	3
AH-5	0.561	0.546	0.554	5
AH-6	0.567	0.516	0.541	6
AH-7	0.654	0.599	0.627	4

Çizelge 8. WASPAS metoduna göre erozyon risk sınıfları
Table 8. Erosion risk classes according to the WASPAS method

Erozyon risk seviyesi	Q_i (1)
Çok düşük	0.511 – 0.572
Düşük	0.572 – 0.633
Orta	0.633 – 0.695
Yüksek	0.695 – 0.756
Çok yüksek	0.756 – 0.817



Şekil 4. Entropi-WASPAS erozyon risk sınıflandırması
Figure 4. Entropy-WASPAS erosion risk classification

Sarkar ve Gayen (2024), Hindistan'daki Teesta Nehri Havzası'nda yürüttükleri çalışmada, WASPAS yöntemi aracılığıyla alt havzaları erozyon duyarlılığına göre sınıflandırmıştır. λ (lambda) değeri 1 kabul edilerek yapılan analizde, alt havzalar 0.507 ile 0.796 arasında değişen skorlarla beş risk sınıfına ayrılmıştır. Çalışma, çok yüksek (0.664–0.796) ve yüksek (0.613–0.664) risk seviyelerine sahip havzaların özellikle müdahale önceliği açısından kritik olduğunu ortaya koymuş ve bu alanların koruma önlemleri açısından öncelikli değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu sonuçlar, WASPAS yönteminin, mekansal ölçekli erozyon duyarlılık analizlerinde karar vericiye nesnel bir değerlendirme çerçevesi sunduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, Saouita vd. (2024), Cezayir'deki Tigrigra Havzası'nda WASPAS yöntemi ile 26 alt havzayı analiz etmiş ve 0.118 ile 0.319 arasında değişen skorlarla erozyon riski düzeylerini belirlemiştir. Beş sınıflı bir değerlendirme yapılmış olmakla birlikte, çalışma sahasında yalnızca düşük ve orta düzey erozyon riskine sahip alanların baskın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, erozyonun bölgesel ölçekte yaygın ancak şiddet bakımından sınırlı bir profile sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma, WASPAS temelli analizlerin, yaygın fakat düşük yoğunluklu erozyon risklerinin bile etkin şekilde belirlenmesine olanak sunduğunu göstermektedir.

Akay vd. (2023) ise Türkiye ölçeğinde yürüttükleri çalışmada, entropi tabanlı ağırlıklandırma ile WASPAS yöntemini entegre ederek sediment riskini değerlendirmiş, ayrıca bulanık kümeleme yöntemiyle sonuçları pekiştirmiştir. Bulgular, ormancılık faaliyetlerinin (özellikle odun üretimi ve yol inşası) sediment üretimine yağış ve sıcaklık gibi doğal etkenlerden daha fazla katkı sunduğunu ortaya koymuştur. Bu bütünlük yaklaşım hem doğal hem de antropojenik faktörlerin eş zamanlı analizinin çevresel risk değerlendirmelerinde ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada Darıdere Alt Havzası özelinde gerçekleştirilen analizde, WASPAS yöntemi kullanılarak alt havzalar (AH-1 ve AH-7), çok düşük (0.511–0.572) ile çok yüksek (0.756–0.817) arasında değişen VSPM skorlarına göre beş erozyon risk sınıfına ayrılmıştır. Özellikle AH-1 ve AH-2 alt havzaları, en yüksek skorlara sahip olarak çok yüksek erozyon riski grubunda değerlendirilmiş ve müdahale önceliği bakımından kritik konumda belirlenmiştir. Entropi tabanlı ağırlıklandırma yöntemi, kriter önemlerinin ölçülen varyanslara dayalı olarak

nesnel biçimde belirlenmesini sağlayarak analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmıştır. Bu yönüyle çalışma, bölgesel ölçekte sürdürülebilir havza yönetimi politikalarının oluşturulmasında karar vericilere somut, ölçülebilir ve bilimsel temelli bir araç sunmaktadır.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışma, Isparta ili sınırları içerisinde yer alan Darıdere havzasının morfolojik özelliklerini detaylı bir biçimde inceleyerek, havzanın jeomorfolojik karakteristiğini ortaya koymayı ve bu doğrultuda su yönetimi, erozyon kontrolü ve arazi kullanım planlaması açısından bilimsel temelli öneriler geliştirmeyi amaçlamıştır. Morfolojik analizler CBS kullanılarak gerçekleştirilmiş, elde edilen 20 parametre ÇKKV tekniklerinden Entropi ve WASPAS yöntemleri ile bütüncül bir şekilde değerlendirilmiştir. Havza yedi alt birime ayrılarak parametrik varyasyonlar bölgesel düzeyde analiz edilmiş ve önceliklendirilen alanlar tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, Darıdere havzasının topoğrafik ve hidrolojik açıdan heterojen bir yapıya sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle AH-1, AH-2 ve AH-4 'ün yüksek eğim değerleri, yoğun drenaj ağı, artan akış yoğunluğu ve sınırlı infiltrasyon kapasitesiyle öne çıktığı belirlenmiştir. Entropi yöntemiyle belirlenen objektif kriter ağırlıkları doğrultusunda uygulanan WASPAS analizinde AH-1 ve AH-2'nin en riskli alt havza olduğu ve hidrolojik açıdan yönetim önceliğinin bu bölgeye verilmesi gerektiği saptanmıştır. AH-4'de benzer şekilde yüksek öncelikli risk alanları arasında yer almakta olup, özellikle Dd bakımından dikkat çekmektedir.

Havzanın büyük bölümünde Ff, Cc ve Re gibi parametreler, şekilsel olarak uzunlamasına ve düzensiz bir morfolojiye işaret etmekte, bu da akış süresinin nispeten uzun ancak yağış sonrası yüzey akışının hızlı olabileceğini göstermektedir. Drenaj sıklığı ve yoğunluğu değerleri, bazı alt havzalarda akarsu ağının gelişmiş olduğunu ve buna bağlı olarak yüzeysel akış ve erozyon potansiyelinin arttığını ortaya koymaktadır. Rr, Rhp ve eğim sınıfları dikkate alındığında, özellikle yüksek kot farklarına sahip bölgelerde topoğrafik faktörlerin erozyon süreçlerini doğrudan etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu bağlamda, Darıdere havzasında belirlenen kritik alt havzalar öncelikli müdahale alanları olarak değerlendirilmelidir. Özellikle AH-1, AH-2 ve AH-4 alt havzalarında entegre erozyon kontrol programlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Söz konusu bölgelerde arazi kullanımı ve su yönetimi politikalarının, morfolojik özelliklere dayalı olarak planlanması, hem taşkın risklerinin azaltılmasına hem de toprak kaybının önlenmesine katkıda bulunacaktır. Ayrıca, havzanın tamamında sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının teşvik edilmesi, ormanlaştırma ve bitki örtüsü güçlendirme çalışmalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan Entropi-WASPAS tabanlı değerlendirme yaklaşımı, yalnızca Darıdere havzası için değil, benzer morfolojik yapıya sahip diğer küçük ve orta ölçekli havzalar için de karar vericilere nesnel ve analitik bir değerlendirme zemini sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma hem akademik literatüre hem de uygulamalı havza yönetimi stratejilerine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akay, A.O., Şentürk, E., Akgül, M., Demir, M., 2023. Spatial assessment of sediment risk with integrated entropy-based WASPAS and fuzzy clustering methods in Turkey: Impact of forestry activities and meteorological factors. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(10): 1201. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11762-0>
- Akay, A.O., Şentürk, E., Akgül, M., Demir, M., 2024. Temporal and spatial variation of sediment risk in Turkey: The role of forestry activities and climate change scenarios (2022–2096) utilizing Entropy-based WASPAS and fuzzy clustering. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(9): 8731-8753. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05156-6>
- Ameri, A.A., Pourghasemi, H.R., Cerda, A., 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. *Science of the Total Environment*, 613: 1385-1400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.210>
- Aytekin, A., Görçün, Ö.F., Ecer, F., Pamucar, D., Karamaşa, Ç., 2022. Evaluation of the pharmaceutical distribution and warehousing companies through an integrated Fermatean fuzzy entropy-WASPAS approach. *Kybernetes*, 52(11): 5561-5592. <https://doi.org/10.1108/K-04-2022-0508>
- Badalpur, M., Nurbakhsh, E., 2021. An application of WASPAS method in risk qualitative analysis: a case study of a road construction project in Iran. *International Journal of Construction Management*, 21(9): 910-918. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1595354>
- Basavareddy, Ayyanagowdar, M.S., Desai, S., Satishkumar, U., Reddy, G.S., Kumar, M., Kumar, P., 2025. Multi-criteria approach for watershed prioritization using morphometry, hypsometric, and erosion analysis in the Mandovi River Basin of the Western Coast of India. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(2): 47. <https://doi.org/10.1007/s41101-025-00373-0>
- Coşkun, M., Öztürk, A., 2022. Havza önceliklendirmesi bakımından Ermenek Çayı Havzası ve Gökçay Havzasının karşılaştırmalı morfometrik analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 23(1): 1-10. <https://doi.org/10.18182/tjf.1024569>
- Demir, S., Dursun, İ., 2024. Assessment of pre-and post-fire erosion using the RUSLE equation in a watershed affected by the forest fire on Google Earth Engine: The study of Manavgat River Basin. *Natural Hazards*, 120(3): 2499-2527.
- Durmaz, E.D., Gölcük, İ., 2023. Entropi tabanlı TOPSIS-Sort ile iş güvenliği risklerinin sınıflandırılması. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(1): 1550-1563. <https://doi.org/10.56554/jtom.1258801>
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2021. De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3): 192-201. <https://doi.org/10.18182/tjf.944195>
- Dursun, İ., Yazıcı, N., 2022. Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemlerine göre Isparta yöresi iklim tipinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2): 264-279. <https://doi.org/10.21324/dacd.1025029>
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2023. Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 24(1): 25-38. <https://doi.org/10.18182/tjf.1205157>
- Dursun, İ., 2025. An integrated analytical approach to sub-watershed prioritization and erosion risk assessment in the Salda Lake Basin, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84(15): 428. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12434-7>
- Dwivedi, P.P., Sharma, D.K., 2024. Assessment of appropriate renewable energy resources for India using entropy and WASPAS techniques. *Renewable Energy Research and Applications*, 5(1): 51-61. <https://doi.org/10.22044/rera.2023.12960.1215>
- Ediş, S., 2025. Regional variability in the maximum water holding capacity and physicochemical properties of forest floor litter in anatolian black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) stands in Türkiye. *Forests*, 16(8): 1337. <https://doi.org/10.3390/f16081337>
- El Abassi, M., Ousmana, H., Saouita, J., El-Hmadi, A., Iallamen, Z., Jaddi, H., Abdallaoui, A., 2024. The combination of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) and morphometric parameters for prioritizing the erodibility of sub-watersheds in the Ouljet Es Soltane basin (North of Morocco). *Heliyon*, 10(19): e10731. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38228>
- Erdoğan Yüksel, E., Karan, Ö.F., Akay, A.E., 2024. Spatio-temporal analysis of erosion risk assessment using GIS-Based AHP method: A case study of Doğanç dam watershed in Bursa (Türkiye). *Forests*, 15(7): 1135. <https://doi.org/10.3390/f15071135>
- Erol, A., Babalık, A.A., Sönmez, K., Serin, N., 2009. Isparta-Darideresi Havzası topraklarında erozyona duyarlılığın arazi kullanım şekillerine bağlı değişimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri A*(2): 21-36.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2004. *Getting Started with ArcGIS*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA, pp.265.
- Evers, M., 2016. Integrative river basin management: Challenges and methodologies within the German planning system. *Environmental Earth Sciences*, 75(14): 1085. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5871-3>
- Falkenmark, M., 2003. Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1440):2037-2049. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1386>
- Gravelius, H., 1914. *Grundriß der gesamten Gewässerkunde Band 1: Flufikunde*. Goschen, Berlin, Germany.
- Horton, R. E., 1932. Drainage-basin characteristics. *Transactions, American geophysical union*, 13(1): 350-361.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56: 275-370.
- İşler, M., Çalık, A., 2022. An approach to islamic investment decision making based on integrated Entropy and WASPAS methods. *Journal of Optimization and Decision Making*, 1(2): 100-113.
- Jothimani, M., Dawit, Z., Mulualem, W., 2021. Flood susceptibility modeling of Megech river catchment, Lake Tana basin, North Western Ethiopia, using morphometric analysis. *Earth Systems and Environment*, 5(2): 353–364. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00173-7>
- Keramati, A., Shapouri, F., 2016. Multidimensional appraisal of customer relationship management: integrating balanced scorecard and multi criteria decision making approaches. *Information Systems and e-Business Management*, 14: 217-251. <https://doi.org/10.1007/s10257-015-0281-8>
- Kumar, A., Singh, S., Pramanik, M., Chaudhary, S., Maurya, A. K., Kumar, M., 2022. Watershed prioritization for soil erosion mapping in the Lesser Himalayan Indian basin using PCA and WSA methods in conjunction with morphometric parameters and GIS-based approach. *Environment, Development and Sustainability*, 1-39. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01586-8>
- Lakshminarayana, S.V., Singh, P. K., Rajdhar Patil, P., Jain, A. 2022. Determination of morphological parameters of Tidi watershed using remote sensing and geographic information system approaches. *Water Supply*, 22(4): 3756-3768. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.014>
- Magesh, N. S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J. P. 2011. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 64: 373-381. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0860-4>

- Matpay, B., 2024. Büyükdere havzasına (Hizan-Bitlis) ait alt havzaların hidromorfometrik analizlerle taşkın duyarlılıklarının korelasyonu. *International Journal of Geography and Geography Education*, (53): 242-261. <https://doi.org/10.32003/igge.1482830>
- Mayer, L., 1990. *Introduction to quantitative geomorphology*. NJ: Prantice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Melton, M. A., 1958. Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *The Journal of Geology*, 66(4): 442-460. <http://dx.doi.org/10.1086/626527>
- Meshram, S. G., Singh, V. P., Kahya, E., Alvandi, E., Meshram, C., Sharma, S.K., 2020. The feasibility of multi-criteria decision making approach for prioritization of sensitive area at risk of water erosion. *Water Resources Management*, 34: 4665-4685. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02681-7>
- Pamukoğlu, Y., Babalık, A.A., Dursun, İ., 2023. An Assessment of Climate Change and Carbon Management. In: *Academic Research and Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences* (Eds: Bozdoğan, N.Y. Bozdoğan, A.M.) Platanus Publishing, Ankara, pp. 284-297.
- Pathare, J. A., Pathare, A. R., 2020. Prioritization of micro-watershed based on morphometric analysis and runoff studies in upper Darna basin, Maharashtra, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6: 1123-1130. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00745-6>
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K., Gajbhiye, S. K. S., 2004. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India—a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1): 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>
- Saouita, J., El-Hmadi, A., Ousmana, H., Aouragh, M. H., Iallamen, Z., Boufala, M., Ragragui, H., Kasse, Z., El Ouali, A., Jaddi, H., 2024. Use of geomatics and multi-criteria methods to assess water erosion in the Tigrigra watershed (Azrou region, Morocco). *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 115. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411501007>
- Sarkar, P., Gayen, S. K., 2024. Application of Entropy-AHP and WASPAS methods for prioritizing the sub watersheds of Teesta River basin in terms of soil erosion susceptibility. *Discover Environment*, 2(1): 135. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00163-w>
- Sarkar, P., Kumar, P., Vishwakarma, D. K., Ashok, A., Elbeltagi, A., Gupta, S., Kuriqi, A., 2022. Watershed prioritization using morphometric analysis by MCDM approaches. *Ecological Informatics*, 70: 101763. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101763>
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5): 597-646.
- Shafiullah, G., Al-Ruwaih, F., Umar, S. M., 2025. Morphometric analysis using multivariate statistical approaches for the prioritization of potential watersheds in Kuwait. *International Journal of Energy and Water Resources*, 9(1):31-44. <https://doi.org/10.1007/s42108-023-00270-z>
- Singh, R., Sahu, P., Kumari, S., Chauhan, V., 2025. Assessing tectonic influence on landscape evolution: Case study of the Nandakini Watershed, Western Himalaya. *Journal of Mountain Science*, 22(2):666-680. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-9065-2>
- Singh, W. R., Barman, S., Tirkey, G., 2021. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*, 11(9): 151. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01483-5>
- Smith, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248(9): 655-668.
- Soni, S., 2017. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique. *Applied Water Science*, 7: 2089-2102. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0395-2>
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological society of America bulletin*, 63(11): 1117-1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: *Handbook of Applied Hydrology* (Ed: Chow, V.), McGraw Hill, New York, pp. 9-76.
- Wassie, S. B., Anleye, M. A., 2025. Morphometry of upper Gilgel Abay watershed in southern Tana Basin, Ethiopia, 2023: analysis and implication for land and water resource management. *Applied Water Science*, 15(4):82. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02385-6>
- White, D., Hwang, C., Yoon, K., 1982. Multiple attribute decision making-a state-of-the-art survey. *The Journal of The Operational Research Society*, 33(3): 289. <https://doi.org/10.1057/jors.1982.61>
- Yasir, M., Hui, S., Binghu, H., Rahman, S. U., 2020. Coastline extraction and land use change analysis using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technology—A review of the literature. *Reviews on Environmental Health*, 35(4): 453-460. <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0103>
- Yazıcı, N., Ünsal Eceoğlu, E., 2025. Sulakyurt Baraj Gölü havzasının morfometrik analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 26(2): 120-128. <https://doi.org/10.18182/tjf.1633688>
- Yüksel, A., Gündogan, R., Akay, A.E., 2008. Using the remote sensing and GIS technology for erosion risk mapping of Kartalkaya dam watershed in Kahramanmaraş, Turkey. *Sensors*, 8(8): 4851-4865. <https://doi.org/10.3390/s8084851>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., Zakarevicius, A., 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6): 3-6. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>